

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Optimalizace a výroba frézy pro obrábění
polystyrenu a minerální vaty**

Optimalization and Production of Milling Cutter
for Machining Polystyrene and Mineral Wool

Student:

Bc. Monika Jančaříková

Vedoucí bakalářské práce:

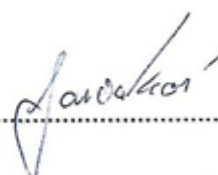
Ing. František Špalek

Ostrava 2020

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020

A handwritten signature in blue ink, written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and appears to be 'Jana Kocová'.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Monika Jančaříková

Adresa trvalého pobytu autora práce: Kovářská 1645, 698 01 Veselí nad Moravou

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

JANČAŘÍKOVÁ, M. *Optimalizace a výroba frézy pro obrábění polystyrenu a minerální vaty: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2020, 46 s. Vedoucí práce: Špalek, F.

Diplomová práce je optimalizací mé bakalářské práce, kdy byly řešeny zejména konstrukční úpravy frézy. Během diplomové práci byla řešena spíše optimalizace výroby frézy. Na začátku práce je uveden teoretický postup zateplování, který zahrnuje používání optimalizovaného nástroje. Dále jsou v práci popisovány 3 způsoby výroby frézy, materiály, z kterých je možno frézy vyrábět, rozměrové varianty fréz, které by bylo vhodné nabízet na trhu díky nabídce zátek z izolačních i možnost optimalizace celého procesu zateplování. Díky technickoekonomickému zhodnocení všech fréz byla následně vybrána frézy, která by měla nejlepší parametry pro sériovou výrobu.

ANNOTATION OF diploma THESIS

JANCARIKOVA, M. *Optimization and Production of Milling Cutter for Machining Polystyrene and Mineral Wool: diploma thesis*. Ostrava: VŠB – Technical Univesity of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working, Assembly and Engineering Metrology, 2020, 46 p. Thesis head: Spalek, F.

The diploma thesis is an optimization of my bachelor's thesis, when the design modifications of the cutter were solved. During the diploma thesis, the optimization of the cutter production was solved. At the beginning of the work is a theoretical procedure of thermal insulation, which includes the use of an optimized tool. Furthermore, the work describes 3 methods of production of cutters, materials from which it is possible to produce cutters, dimensional variants of cutters, which would be suitable to offer on the market thanks to the offer of plugs from insulation and the possibility of optimizing the whole thermal insulation process. Thanks to the technical and economic evaluation of all milling cutters, a milling cutter with the best parameters for series production was subsequently selected.

Obsah

Úvod	8
1.1 Způsoby zateplování	9
1.1.1 Zateplování tepelně izolační omítkou	9
1.1.2 Zateplování odvětrávanými zateplovací systémy	9
1.1.3 Zateplení fasád transparentní tepelnou izolací.....	10
1.1.4 Zateplování fasád kontaktními systémy (ETICS).....	10
1.2 Zateplovací systém ETICS.....	10
1.2.1 Legislativa systému ETICS	11
1.2.2 Materiály pro systém ETICS	11
1.2.3 Zapouštění talířových hmoždinek	11
2.1 Programování NC/CNC obráběcích strojů	13
2.2 Postup tvorby programu v CAM systému	13
2.3 Mastercam	14
3.1 Konstrukční úpravy frézy	15
3.2 Úpravy frézy pro usnadnění výroby.....	16
3.2.1 Změna polotovaru	16
3.2.2 Zjednodušení soustružení.....	17
3.2.3 Zjednodušení frézování	18
3.3 Výroba frézy frézováním.....	19
3.3.1 Postup frézování	19
3.3.2 Stroj pro frézování	21
3.4 Výroba frézy soustružením	22
3.4.1 Postup soustružení	22
3.4.2 Stroj pro soustružení	24
3.5 Zhodnocení obráběcích procesů.....	25
3.6 3D tisk kovů.....	27

3.6.1	Zařízení pro 3D tisk	27
3.6.2	Model pro 3D tisk	28
3.6.3	Materiál použitý pro 3D tisk	28
3.6.4	Zhodnocení výroby 3D tiskem	28
3.6.5	Optimalizace 3D tisku pro případnou další výrobu	30
3.7	Výroba plechové frézy	32
3.7.1	Tvorba modelu plechové frézy	32
3.7.2	Materiál pro plechovou frézu	33
3.7.3	Technologický postup výroby	33
3.7.4	Cenové zhodnocení výroby	36
3.8	Srovnání všech výrobních procesů	38
3.9	Sériová výroba	42
3.10	Otestování vyrobených fréz	43
3.10.1	Testování obráběné frézy	43
3.10.2	Testování vytištěné frézy	44
3.10.3	Testování plechové frézy	46
3.11	Optimalizace zátek z izolačních materiálů	48
3.12	Použité materiály	49
3.13	Optimalizace procesu používání nástroje	51
Závěr		54
Zdroje		57
Seznam příloh		59

Seznam použitých značek a symbolů

$C_{\text{frézování}}$	-	Cena výroby frézováním	[Kč]
$s_{(\bar{x})}$	-	Směrodatná odchylka výběrového průměru	[-]
$s_{(x)}$	-	Výběrová směrodatná odchylka	[-]
\bar{x}	-	Výběrový průměr	[-]
Δ	-	Odchylka	[-]
2 D	-	Dvourozměrný	[-]
3 D	-	Trojrozměrný	[-]
CAD	-	Počítačem podporované projektování	[-]
CAM	-	Počítačová podpora obrábění	[-]
CNC	-	Počítačové číslicové řízení	[-]
ČSN	-	Česká státní norma	[-]
DIN	-	Německý ústav pro průmyslovou normalizaci	[-]
DPH	-	Daň z přidané hodnoty	[-]
EPS-F	-	Expandovaný polystyren	[-]
ISO	-	Mezinárodní organizace pro normalizaci	[-]
např	-	Například	[-]
NC	-	Číslicové řízení	[-]
SLM	-	Selektivní tavení laserem	[-]
s_{stroje}	-	Hodinová sazba stroje	[Kč/hod]
t	-	Výrobní čas	[hod]
XPS	-	Extrudovaný polystyren	[-]
s	-	Kvadratická odchylka	[-]

Úvod

Protože ve stavebnictví se v dnešní době používá stále více složitějších nástrojů a pomůcek je tento obor úzce spjat se strojírenským průmyslem. Tak je zajištěna výroba nástrojů i pomůcek od jednoduchých jako je obyčejná lopata až po komplikovanější. Jeden takový složitější nástroj se týká zateplování budov.

Z počátku se tyto frézy po zateplování vyráběly, jako plastové výlisky. Později došlo k používání nových materiálů k zateplování, které už neumožňovaly používání takových nástrojů, z důvodu natavení a trvalé poškození nástrojů při jejich používání, proto došlo při výrobě nástrojů k přechodu na obrábění z hliníkových slitin, ale také i korozi-vzdorné oceli, aby byla zaručena větší teplotní odolnost nástroje. Konstrukce takové frézy byla řešena již, během mé bakalářské práce.

V této práci byl řešen způsob výroby takové frézy, tak aby čas a cena výroby nástroje byli co nejnižší, ale nadále byla zachovaná funkčnost nástroje a co nejjednodušší jeho používání. Důležité je také zachování nízké hmotnosti, z důvodu upínání nástroje do ruční vrtačky, tedy ručního používání.

1 Zateplování budov

Od minulosti až do dnes dochází při výstavbě nových budov k modernizaci, a to buď použitím nových materiálů, ale i metod výstavby staveb. Protože ne vše je možné řešit výstavbou nové budovy dochází dnes poměrně často k revitalizaci budov starších. Jednou metodou revitalizace lze považovat i zateplování budov. Díky zateplení budovy dochází ke snížení finančních nákladů na vytápění během zimních měsíců a současně zamezování prostupujícího tepla do budovy v letních měsících tzn. zateplováním dochází k eliminaci tepelných mostů a také k velkým energetickým úsporám (zkrácení topné sezóny).

1.1 Způsoby zateplování

Protože i technologie zateplování prochází jistým vývojem je známo několik metod zateplování, s tím souvisí i vývoj materiálů používaných k zateplování.

1.1.1 Zateplování tepelně izolační omítkou

Jedná se o nejméně účinnou metodu zateplování používá se spíše pro opravy stávajících fasád. Před samotným nanášením omítky je důležité podklad připravit. To spočívá v očištění povrchu od nečistot, starých nátěrů atd. Po očištění se aplikuje penetrace zdiva, na které má být omítka nanesena. Následuje samotné nanášení omítky s obsahem perlitu nebo kuličkami polystyrenu v tloušťce cca 3 cm. [1]

Hlavní výhodou této metody je to že nevyžaduje armování, a nijak nenarušuje zdivo, také je omítka nehořlavá její aplikace je rychlá, jednoduchá a pohodlná. [1]

1.1.2 Zateplování odvětrávanými zateplovací systémy

K montáži odvětrávaných zateplovacích systémů není zapotřebí použití stěrek a lepidel. Na fasádu se ukotví rošt s kotvami, na který se opevňují desky z tepelně izolačních materiálů např.: keramické, kamenné, hliníkové, Mezi tyto desky se vkládá tepelně izolační materiál na bázi minerálních vláken. Důležitá je mezera mezi zdívem a tepelnou izolací, která plní odvětrávací funkci. [2]

Výhodou této metody je nepoškození zdiva a jednoduchá výměna části izolace v případě poškození. Tato metoda je využívána jen málo, a to díky její vysoké ceně. Ta může být v případě použití keramických desek až 2500 Kč/m².

1.1.3 Zateplení fasád transparentní tepelnou izolací

Postup zateplení transparentní tepelnou izolací je stejný jako u zateplování odvětrávanými systémy, jediným rozdílem je použití desek ze speciálního materiálu, který propouští sluneční paprsky pouze pod úhlem cca 25 stupňů, tím je ohřev zateplení umožňován pouze na jaře a na podzim, protože v tyto období se slunce pohybuje nízko. V letních obdobích, kdy je slunce vysoko jsou sluneční paprsky od zateplení odraženy. [3]

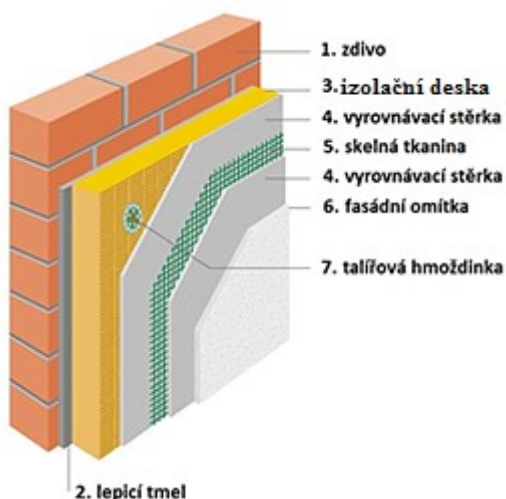
Tato metoda je nová proto není velmi rozšířená, její finanční náročnost je však ještě vyšší než při metodě zateplování odvětrávanými systémy. [3]

1.1.4 Zateplování fasád kontaktními systémy (ETICS)

Zateplování kontaktními systémy je v současné době nejpoužívanější metodou zateplování, a to díky své vysoké efektivitě a nízké ceně. Využití kontaktních systémů je možné na všechny známé druhy fasád.

1.2 Zateplovací systém ETICS

Zateplení spočívá v přilepení izolačních desek na zdivo, tyto desky se následně ukotví pomocí zapuštěných talířových hmoždinek. Na ukotvené desky se nanese základní vrstva se skleněnou síťovinou poté penetrace a vnější tenkovrstvá omítka. [4]



Obr. 1-1-1 Systém Etics [4]

1.2.1 Legislativa systému ETICS

Postup zateplování metodou ETICS je normalizován (ČSN 73 2902) tato norma vychází z normy obecných požadavků pro zateplování ČSN 73 2901. Důležité je dodržení požární bezpečnosti, mechanické odolnosti systému. Norma předepisuje konkrétní tloušťky i druhy materiálů a způsoby jejich aplikace. [5]

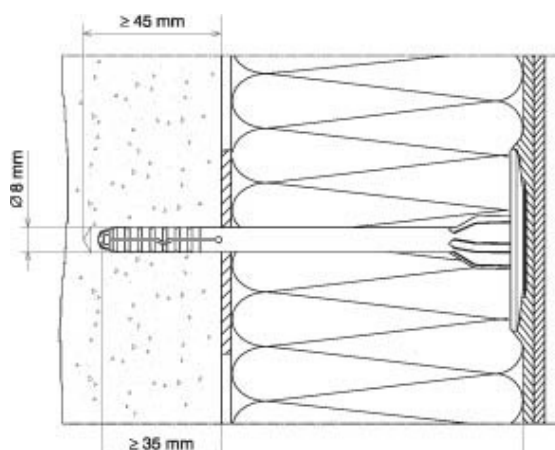
1.2.2 Materiály pro systém ETICS

Nejčastěji používaný materiál jako tepelná izolace je pěnový expandovaný polystyren (EPS-F) ať už čistý nebo s příměsí grafitu. Dále se používá také extrudovaný polystyren (XPS), ten má oproti EPS lepší vlastnosti jako např.: větší pevnost a nenasákavost, proto bývá čím dál častěji používán místo dosavadního EPS. Hojně využívaná bývá v poslední době také minerální vata jejíž hlavní výhodou je, že se jedná o paropropustný materiál. [5]

Všechny tyto materiály se používají ve formě desek nejčastěji o rozměru (1000 x 500) mm a tloušťkách od 50 mm až po 260 mm. Tloušťka izolačního materiálu se volí podle druhu izolačního materiálu, ale také i podle druhu materiálu na který má být zateplen.

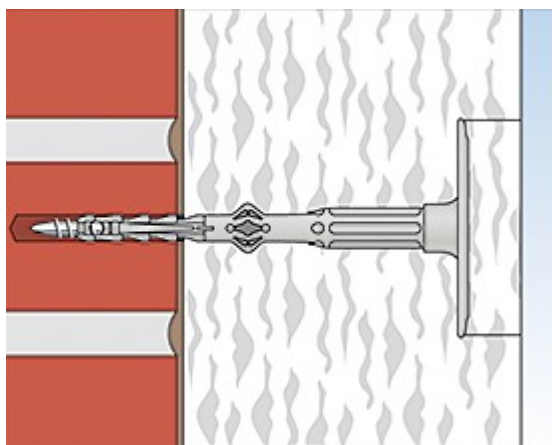
1.2.3 Zapouštění talířových hmoždinek

Desky z izolačních materiálů se na dosavadní fasády lepí pomocí lepidel na bázi cementu. Takto přilepené desky se po vytvrzení lepidla do fasády dále kotví pomocí talířových hmoždinek. Takové hmoždinky vyrábí nespočet firem, jejich délka souvisí s tloušťkou izolačního materiálu. Nutné je pouze dodržení kotvicí hloubky v zateplované budově, která je 35-45 mm viz. Obr. 1-2-1. [6]



Obr. 1-2-1 Zapouštění talířových hmoždinek [6]

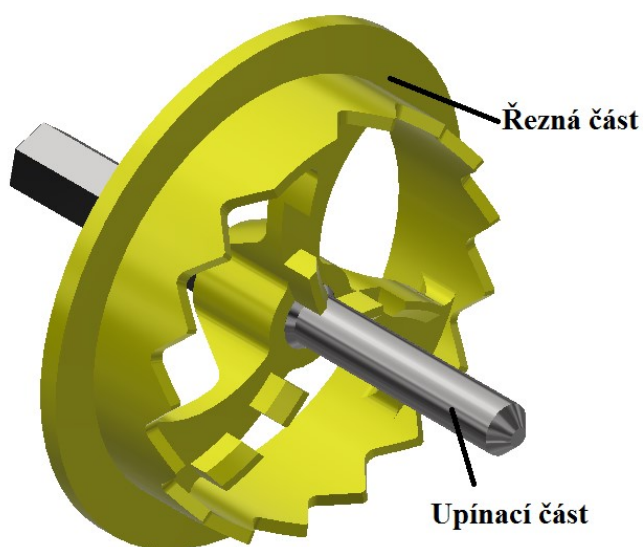
Zapuštěná talířová hmoždinka se umísťuje do předvrtaného otvoru se zahloubením, kde po umístění talířové hmoždinky dojde k umístění zátky z izolačního materiálu. Výška zátky je 15 mm.



Obr. 1-2-2 použití zapuštěné hmoždinky [7]

Postup zapouštění talířových hmoždinek

Jako první se do přilepených desek a fasády vyvrtá otvor tak hluboký, aby zasahoval do dosavadní fasády alespoň 45 mm, protože hmoždinka musí být v dálce alespoň 35 mm uložena ve zdivu. Po vyvrtání otvoru následuje vyfrézování otvoru pro zátku z izolační hmoty pomocí frézy jejíž konstrukci jsem řešila již během méjí bakalářské práce viz. Obr 1-3.



Obr. 1-2-3 Výsledek bakalářské práce [10]

Do vyfrézovaného otvoru se zatluče talířová hmoždinka na ni se vloží zátka z izolačního materiálu a nanese penetrační vrstva a konečná omítka.

2. Počítačová podpora v obrábění

Konstrukční řešení bylo již řešeno během bakalářské práce, proto v diplomové práci budou provedeny pouze malé konstrukční úpravy, které jsou nutné z hlediska technologie výroby či jako vylepšení nedostatků které byli zjištěny v průběhu používání. Hlavním tématem v diplomové práci bude výroby této frézy, a to na strojích s počítačovou podporou. Jako první varianta, na které je možnost frézu vyrábět, je 3osé CNC frézce od firmy Kovosvit MAS MCV 1270 na rozdíl od bakalářské práce kdy výroba probíhala na univerzální frézce DMU 50, a podruhé proběhne výroba na Univerzálním soustruhu NLX 2500/700. Oba tyto stroje se nacházejí na naší katedře.

2.1 Programování NC/CNC obráběcích strojů

Programování lze provádět online (přímo na stroji), nebo offline (mimo stroj). Programy lze psát ručně, přičemž se využívá znalostí ISO nebo DIN kódů, nebo lze využívat CAM systémů. [8]

Ruční programování se využívá jen u jednoduchých součástí ve 2D nebo 2,5 D.

Při využívání CAM systémů není důležitá znalost ISO/DIN kódů, programování probíhá v interaktivním prostředí, není potřeba nic přepočítávat, využívá se konkrétních symbolů pro veškeré obráběcí operace. Součástí jsou i měřicí cykly. CAM systémů se využívá zejména tam kde nejde použít ruční programování (složitě obrobky). [8]

2.2 Postup tvorby programu v CAM systému

CAM systémy úzce souvisí s CAD systémy, před začátkem tvorby CAM programu je důležité mít vytvořený 3D model součásti, teprve poté se k modelu přiřazují technologie obrábění příslušných částí součásti již v CAM systému (nastavení nulových bodů, hrubování, dokončování, sražení hran apod.), po vytvoření je vhodné využít simulaci. Ve většině případu mají CAM systémy v sobě zabudované i simulátory pro ověření, jako poslední se z CAM systému vygeneruje NC program, který už jen stačí nahrát do stroje a zapnout. [8]

2.3 Mastercam

Pro tvorbu NC programů pro obrábění byl použit program Mastercam 2017, jedná se o CAD/CAM software pro obráběcí, ale i tvářecí stroje. Tento systém byl vytvořený americkou firmou CNC Software, která má dlouholetou tradici v oblasti programování CNC strojů. I proto je dnes Mastercam nejrozšířenější CAD/CAM software na světě. V České republice se software používá již 19 let. [9]

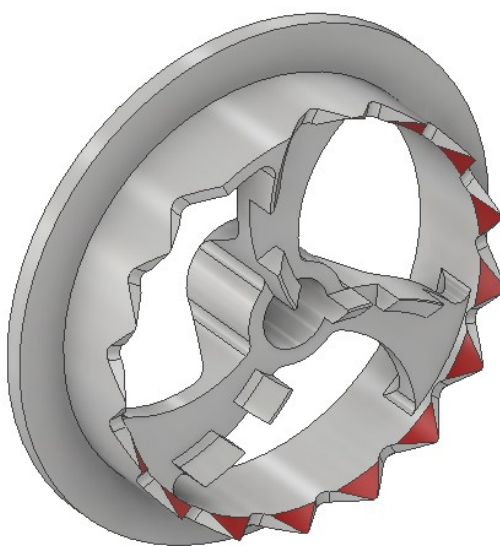
Mastercam se používá pro výrobu frézování od 2,5D až 5D, dále také pro výrobu soustružením 2osého, 4osého s více hlavami a vřeteny. 2osé a 4osé, elektroerozivní drátové řezání EDM. Router-řízení dřevoobráběcích strojů. Dlouhotočné frézovací CNC automaty. CAD/CAM systém Mastercam je moderním nástrojem pro vytváření a editaci modelů. Od verze X8 je CAD/CAM systém Mastercam také jedním z nejmodernějších CAD nástrojů, kde lze rychle a jednoduše nakreslit jakýkoli model, design. Nesting-rozmístění 2D prvků, Art modul pro vytváření plastických reliéfů. [9]

3 Optimalizace nástroje

Prvním krokem praktické části mojí práce bylo upravení 3D modelu. U původního modelu byly v důsledku používání v praxi objeveny nedostatky, z toho důvodu bylo provedeno pár úprav pro vylepšení nástroje. Na vodícím hrotu nebyly zjištěny žádné nedostatky, proto ten nechám v původním stavu z návrhu z bakalářské práce. Na fréze byli zjištěny nedostatky při frézování minerální vaty, a to takové, že dochází při úběru materiálu k jejímu vylupování, což způsobuje nutnost dalších úprav vyfrézovaných otvorů, např. vyřezávání, tmelení, či dokonce nutnost výměny celé desky, což nejen prodlužuje dobu zateplování, ale také to zvyšuje finance potřebné k zateplení budovy.

3.1 Konstrukční úpravy frézy

Řešením toho problému by mělo být zvýšení řezivosti frézy, toho docílíme zkosením vnitřního průměru frézy viz. Obr. 3-1 níže sražené plochy po sražení hrany jsou vyznačeny červeně.



Obr. 3-1-1 Zkosení vnitřního průměru

Dále jsou součástí práce NC programy pro výrobu soustružením, s tím souvisí i drobné úpravy tvaru kvůli snadnější a rychlejší výrobě. Původní řešení navržené řešením probíhalo na frézce a výroba byla poměrně zdoluhavá, zejména kvůli používání malých nástrojů. Protože se jedná o rotační část a také díky dalším úpravám, které byly

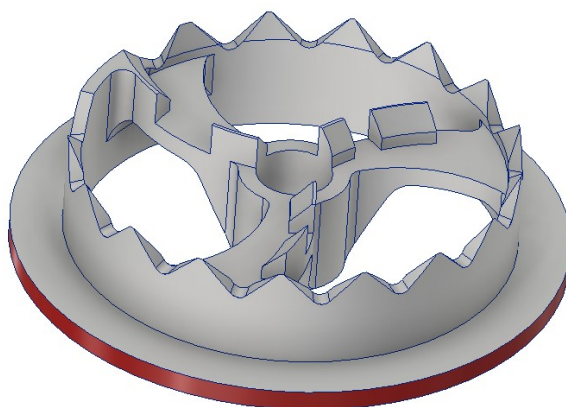
během práce provedeny. Je nyní možná výroba na soustruhu. Ten, ale musí mít možnost použití poháněných nástrojů.

3.2 Úpravy frézy pro usnadnění výroby

Výroba frézy na frézovacím zařízení probíhala již během bakalářské práce, ale jak už je výše uvedeno tato výroba byla v této práci optimalizovaná. Důvodem této optimalizace byla snaha o co nejkratší výrobní čas frézy a tím snížit výrobní náklady na co nejnížší možné.

3.2.1 Změna polotovaru

Pro výrobu jak soustružením, tak frézováním byl použit stejný polotovar. Materiál polotovaru zůstal stejný jako během bakalářské práce (hliníková slitina EN AW-7075), ale rozměry polotovaru byly optimalizovány, a to zejména průměr polotovaru. Příklad na průměr 5 mm, který byl vypočítaný během bakalářské práce, totiž není potřebný, protože průměr 80 mm viz. slouží pouze jako dosedací plocha není její přesnost v případě mírného poškození polotovaru důležitá.



Obr. 3-2-1 Průměr 80 mm

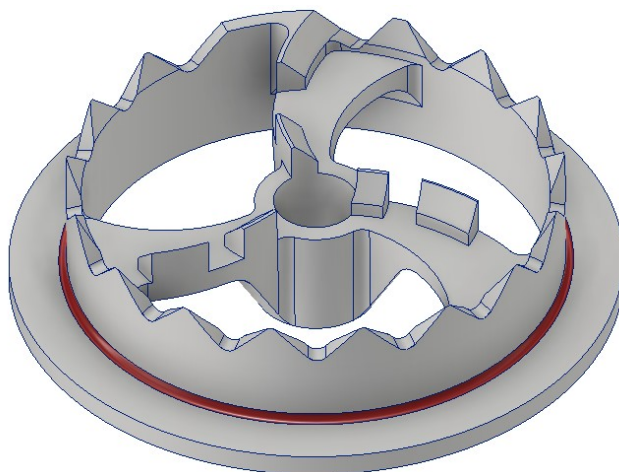
Proto byl pro výrobu dostačující průměr 80 mm, výška polotovaru také nezůstala stejná, vysvětlení, proč je uvedeno níže.

Rozměry nového polotovaru byly tedy $\varnothing 80 - 23$ mm EN AW-7075.

Díky této změně došlo také k optimalizaci ceny polotovaru oproti výrobě během bakalářské práce. Cena takto optimalizovaného materiálu, který nabízí společnost Feron činí 51 Kč. To je rozdíl oproti dřívějším 69 Kč o 18 Kč. [11]

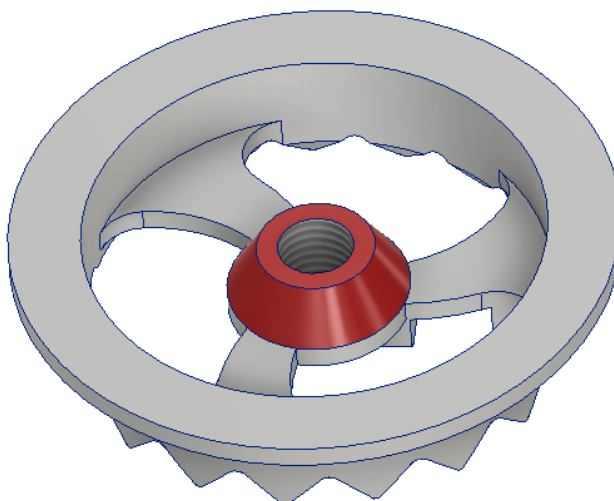
3.2.2 Zjednodušení soustružení

Pro obrábění technologií soustružením bylo přidáno vnější zaoblení, což snižuje opotřebení soustružnického nože v tomto případě břitové destičky. Zaoblení má velikost R1, větší zaoblení, by příliš zmenšilo dosedací plochu frézy, a to by mohlo snížit účinnost vyráběného nástroje, a také by mohlo dojít k poškození přechodové hrany otvoru.



Obr. 3-2-2 Rádus R1

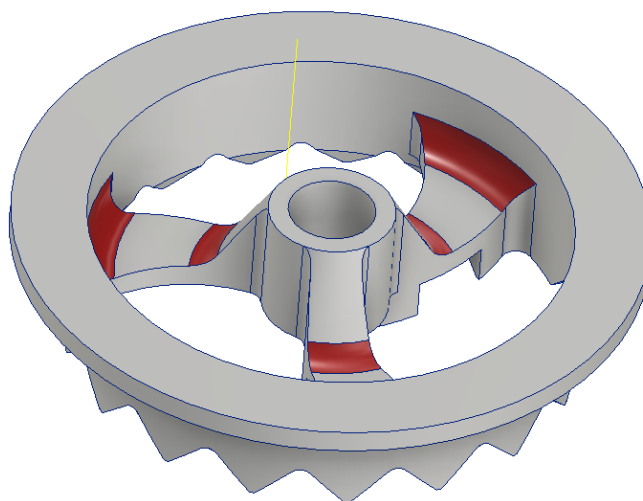
Dále také došlo ke snížení výstupku, a tak jeho zarovnání s plochou dorazu a vytvoření kuželové plochy. Snížení výstupku umožní použít ještě více optimalizovat polotovár (zmenšit polotovár o 2 mm což byla výška tohoto výstupku), kuželová plocha se vytvořila z důvod vzniku rotační plochy tedy možnosti soustružení.



Obr. 3-2-3 Výroba kužele

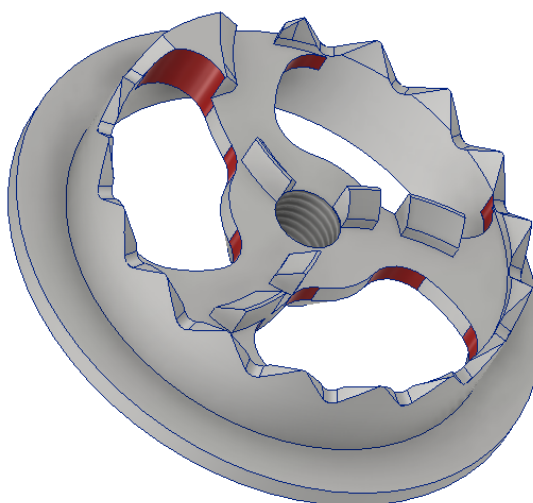
3.2.3 Zjednodušení frézování

Výroba frézy frézováním byla provedena již během bakalářské práce, ale teď byla provedena snaha o co největší optimalizaci tohoto procesu. V 3D modelu z bakalářské práce byly zrušeny vnitřní zaoblení na fréze viz. Obr. 3-3. Všechny zaoblení, které jsou na obrázku vyznačeny červeně byly zrušeny pro výrobu frézováním stejná operace lze provádět i soustružením ale i pro ni je vhodné toto, zaoblení nevyrábět.



Obr. 3-2-4 Zrušení zaoblení

Aby byla výroba frézování co nejvíce zoptimalizována oproti výrobě během bakalářské práce je důležité výrobu provádět co nejmenším počtem nástrojových drah. S tím souvisí použití i větších nástrojů, proto došlo ke zvětšení rádiusů uvnitř frézy a také opravě krajního zubu, který je součástí jednoho z těchto rádiusů.



Obr.3-2-5 Zvětšení zaoblení

3.3 Výroba frézy frézováním

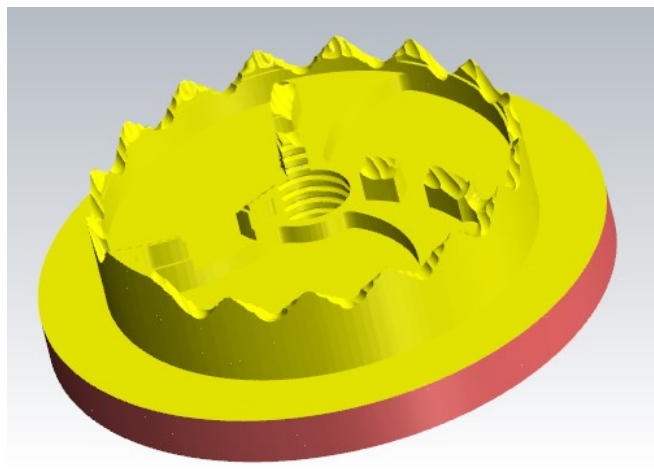
Při srovnání s výrobou během bakalářské práce, kde byla fréza vyráběna na 5osém zařízení DMU 50, došlo během optimalizace 3D modelu, ale také CNC programu k takovým úpravám, že už nebylo třeba využití 5osého zařízení a výroba tak mohla probíhat na 3osé CNC frézce, tím došlo ke snížení i nákladů na výrobu díky nižšímu cenovému tarifu stroje. Úpravy byly provedeny také z důvodu, aby bylo možno použít větší průměry nástrojů, a tak urychlit výrobu. Tvar frézy po provedených úpravách na výkrese viz. Přílohy.

3.3.1 Postup frézování

Výroba frézováním probíhala již během bakalářské práce, teď byla snaha o co největší optimalizaci, té bylo docíleno zejména úpravami na modelu, které umožnili jak zjednoduší, tak i rychlejší výrobu hlavně díky použití větších nástrojů.

CNC program pro frézování byl vytvořen v CAM programu Mastercam 2017, celý NC kód pro obrábění je přiložený v příloze.

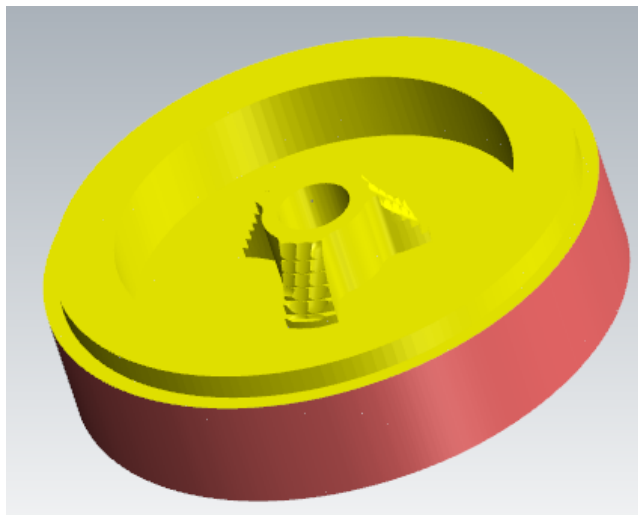
Frézování bylo provedeno na dvě upnutí obrobku. Při prvním upnutí došlo k obrábění čelní plochy, vytvoření řezného průměru 65 mm, vytvoření ledvinkových kapes pomocí válcové frézy o průměru 6 mm, vytvoření vnitřních i vnějších zubů pomocí válcové frézy o průměru 4 mm a v poslední části také k upevňovacímu otvoru M 10 pomocí vrtáku o průměru 8,5 mm a závitníku pro závit M10, který slouží k upevnění na vodící hrot, který byl vytvořen již během bakalářské práce. Veškeré operace a výsledek simulace v programu Mastercam 2017, lze vidět na Obr. XX níže.



Obr. 3-3-1 První strana frézování

Součet všech výrobních časů na první upnutí, lze také najít v programu Mastercam 2017 a je 1093 sekund.

Při druhém upnutí bylo provedeno opět frézování čela, a frézování vnitřního vybrání pomocí válcové frézy o průměru 6 mm. Simulace po těchto operacích je opět na obrázku 3-3-2 níže. Obrábění při druhém upnutí trvalo 1249 sekund.



Obr. 3-3-2 Druhá strana frézování

Celkový čas strávený při frézování (t) byl 2 342 sekund což je 0,65 hodin. Hodinová sazba stroje (s_{stroje}), na kterém výroba probíhala je 800 Kč/hod. Stroj je více popsán níže. Z těchto údajů lze vypočítat i cenu výroby na frézce.

$$C_{frézování} = t \cdot s_{stroje} = 0,65 \cdot 800 = 520 \text{ Kč}$$

Výpočtem bylo zjištěno, že výrobní cena frézování dílu je 520 Kč. Tato cena i čas jsou oproti bakalářské práci menší, a to čas o 0,1 hodiny, tento čas snížil i cenu o 80 Kč.

Tato výroba probíhala pouze teoreticky, protože další poznatky, které jsou dále v práci uvedeny označili jako jasně efektivnější výrobu pomocí soustružení. I když i teď lze vidět drobné ušetření času i nákladů pro výrobu, byla výroba frézy, která vedla do fyzické podoby pouze na soustružnickém zařízení, protože tato výroba je pro obrábění rotačních součástí rychlejší tedy i výhodnější. Měla by tato výroba zajistit ještě výhodnější optimalizaci výroby frézy.

3.3.2 Stroj pro frézování

Níže je uveden stroj se svými parametry, na kterém by byla možná výroba frézováním. Díky moderní technologii a zejména, že výsledný tvar frézy neovlivní to, jakým způsobem bylo tohoto tvaru frézy docíleno, nebylo nutné tuhle výrobu reálně provést. Kdyby tato výroba byla nutná, výroba frézováním by probíhala na katedře obrábění, montáže a strojírenské metrologie na Vysoké škole Báňské na 3osé CNC frézce od firmy Kovosvit MAS MCV 1270.



Obr. 3-3-3 MCV 1270[12]

Tab. 1 Parametry frézky[12]

Stůl	
Upínací plocha stolu	1500 x 670 mm
T – drážky (počet x šířka x rozteč)	5 x 18 x 125 mm
Maximální zatížení stolu	1 200 kg
Pracovní rozsah	
X – osa	1270 mm
Y – osa	610 mm
Z – osa	720 mm
Vzdálenost čela vřetena od upínací plochy stolu	120–840 mm
Posuv	
Pracovní posuv X, Y, Z	1 – 40 000 mm·min ⁻¹
Rychloposuv X, Y, Z	40 m·min ⁻¹
Změna otáček	2 stupně
Rozměry stroje (d x š x v)	5000x3600x3330 mm
Hmotnost stroje	11 800 kg

3.4 Výroba frézy soustružením

Všechny operace soustružením byly prováděny na univerzálním soustruhu NLX 2500/700 umístěným na katedře obrábění, montáže a strojírenské metrologie na Vysoké škole Báňské Technické univerzitě Ostrava. Tento stroj byl zvolen z důvodu možnosti používání poháněných nástrojů a také z důvodu, že výroba pomocí soustruhu je rychlejší tedy i ve většině případů levnější pro výrobu rotačních součástí než vyrábění rotačních součástí na stroji, který je určen pro frézování.

3.4.1 Postup soustružení

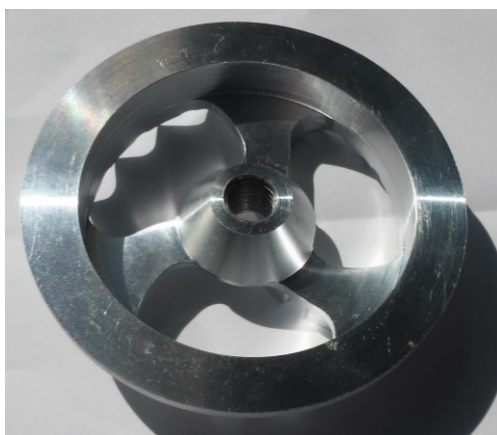
Soustružení stejně jak frézování bylo provedeno na dvě upnutí. Obrábění při prvním upnutí bylo prováděno podobně jako při výrobě frézování, ale za použití odlišných nástrojů, a to zejména soustružnických nožů pro obrábění čela a vnějšího průměru, vnitřní vybrání bylo vytvořeno poháněnou válcovou frézou o průměru 6 mm pro ledvinkové kapsy u kterých došlo vždy k předvrtání otvoru o průměru 8,5 mm ze kterého se vždy při obrábění kapes vycházelo, a frézou průměru 4 mm pro plochy v okolí zubů, ostří na zubech bylo vytvořeno poháněnou frézou na sražení hran, také byla předvrtána díra o průměru 8,5 mm, protože závit byl dokončen už jen ručně. Obrábění první strany trvalo 7 minut a 22 vteřin tedy 0,122 hodin.

Protože výroba soustružením proběhla i v reálné podobě jsou níže uvedeny fotografie z výrobního procesu. Na rozdíl od výroby frézování, kdy jsou pouze náhledy ze simulace.



Obr. 3-4-1 první strana soustružení

Při druhém upnutí došlo k zarovnání čela a vytvoření vybrání. K oběma operacím byly použity pouze soustružnické nástroje. Jednalo se o soustružnický stranový nůž pro čelní plochu a vnitřní upichovací soustružnický nůž pro vnitřní vybrání frézy. Poháněné jako u prvního upnutí, protože se jedná o ryze rotační tvary. Toto obrábění probíhalo 1 minutu a 43 vteřin tedy 0,028 hodin. Pro to, aby byl nástroj připraven pro používání bylo potřeba ještě vytvořit závit, který umožní uchycení na vodící hrot.



Obr. 3-4-2 Druhá strana soustružení

Celkový čas potřebný pro výrobu frézy na soustruhu je tedy 0,15 hodin. Všechny potřebné nástroje a celý CNC kód jsou uvedeny v příloze xx. K tomuto času připočítám ještě, 10 minut, které zahrnou času upínací, manipulační, ale také ruční řezání závitu pomocí závitníku M10. Ruční řezání závitu bylo použito z důvodu možnosti upnutí pouze 2 poháněných nástrojů do stroje. Tedy výsledný výrobní čas uvažuji 0,3 hodiny. Ze zjištěného času lze také vypočítat cenu, stejně jako v přechozím bodě. Hodinová sazba stroje, na kterém probíhala výroba je 800 Kč/hod proto je výsledná výrobní cena 160 Kč.



Obr. 3-4-3 Hotová fréza

3.4.2 Stroj pro soustružení

Během bakalářské práce probíhala na stroji NLX 2500/700 výroba vodícího hrotu, který je zajišťuje upevnění frézy do vrtačky. Z důvodu možnosti používání poháněných nástrojů na tomto stroji je možné vyrobit i tělo frézy na tomto stroji.



Obr. 3-4-4 NLX 2500/700[13]

Tab. 2 Parametry stroje [13]

Max. průměr soustružení	366 mm
Max. délka obrobku s koníkem (lze obrobit)	1,255 mm
Max. velikost sklíčidla	254 mm
Maximální otáčky motoru vřetena	4 000 ot / min
Jmenovitý výkon měniče (100% DC)	22 kW (AC)
Max. průměr kapacity tyče	102 mm

3.5 Zhodnocení obráběcích procesů

Zde je uveden malý přehled daných parametrů, díky kterým proběhlo rozhodnutí vyrábět frézu pouze na soustružnickém zařízení. Jedná se zejména o výrobní čas, který je úzce spjatý i s cenou výroby tohoto nástroje.

Do celkového zhodnocení pomocí obrábění je nutné započíst i cenu polotovaru nejen cenu výroby tato cena je uvedena již výše a činí 51 Kč.

Protože se jedná o nástroj, který bude dále sloužit pro ruční používání, bylo důležité, aby fréza měla co nejmenší hmotnost, aby byla případně manipulace s ní co nejjednodušší. Výroba probíhala dvěma obráběcími procesy, ale protože obráběný tvar byl stejný byla stejná i hmotnost vyrobené frézy která činí 45 g.

Tab. 3 Cenové zhodnocení obráběcích procesů

	Soustruh NLX 2500/700	Frézka MCV 1270
<i>Čas výroby</i>	0,3 hod	0,65 hod
<i>Hodinová taxa stroje</i>	.800 Kč/hod	800 Kč/hod
<i>Celková cena výroby</i>	240 Kč	520 Kč

Prodejní cenu vyráběné frézy lze vypočítat jako součet ceny polotovaru a ceny výroby i s připočtenou marží, která je u strojních výrobků přibližně 40% ceny výrobní.

Výpočet prodejní ceny:

$$C = (C_v + C_p) \cdot 1,4 \quad (1)$$

Kde: C_v ... je výrobní cena

C_p ... je cena polotovaru

Cena frézovaného nástroje i s cenou polotovaru a se započtenou marží je 800 Kč.

Cena soustruženého nástroje i s cenou polotovaru a se započtenou marží je 407 Kč.

Z výše uvedených cen lze vidět velkou časovou i cenovou optimalizaci vzhledem k výrobě při bakalářské práci, kdy vyrobená fréza stála 1052 Kč, a i to už byla optimalizace od dosavadních fréz nabízených na trhu.

Skutečná výroba probíhala pouze soustružením, protože při další testování výrobku není důležité, jakou výrobou je výrobek zhotoven, je důležitý pouze výsledný tvar. A díky výše uvedenému zhodnocení se požadovaného varu nejrychleji a nejlevněji dosáhne výrobou na soustruhu.

Protože i při soustružení tak i při frézování dochází ke vzniku velkého množství materiálu bylo by vhodné na výrobu použít druh výroby při které nevzniká tolik odpadu. Mezi tyto metody obrábění lze zařadit např. 3D tisk kovů. Další možností výroby by mohla být výroba, pomocí stáčení a svařování plechů.

3.6 3D tisk kovů

3D tisk kovů umožňuje přímou metodu výrobního procesu. Jedná se o laserovou technologii, která využívá kovových prášků. Tyto prášky jsou postupně po vrstvách spékány, a tak vzniká příslušný tvar vyráběné součásti. Velkou výhodou metody na 3D tiskárně je nepoužívání CAM systémů. K výrobě součásti stačí pouze 3D model.



Obr. 3-6-1 – Postup 3D tisku kovů[14]

3D tisk kovů se používá, když chceme docílit lehkých kovových dílu což, je v tom to případě žádoucí z důvodu, že se jedná o ruční nástroj, dále také tam kde chceme docílit kratších výrobních cyklů, tedy ekonomické a rychlé výroby složitých dílu, což je i cílem této diplomové práce. [14]

3.6.1 Zařízení pro 3D tisk

Výroba probíhala na zařízení Renishaw AM 400, které slouží pro stavbu kovových součástí s laserem nataveného kovového prášku. Používané SLM 3D tiskárny patří k nejmodernějším zařízením svého druhu, což dokladuje především výsledná kvalita vytisknutých dílů.



Obr. 3-6-2 – 3D tiskárna [15]

Tab. 4 Parametry Renishaw AM 400 [15]

Parametr	Velikost	Jednotka
maximální rozměry součásti (X × Y × Z)	250 × 250 × 300	mm
rychlost výroby (dle materiálu, hustotě, tvaru)	5-20	cm ³ /hod
rychlost snímání	až 2000	mm/s
rychlost polohování	7000	mm/s
tloušťka vrstvy	20-100	μm
výkon laseru	400	W

3.6.2 Model pro 3D tisk

Pro výrobu za pomoci 3D tisku nebylo zapotřebí vytvoření dalšího specifického modelu. Plně dostačující byl model, který sloužil pro výrobu frézováním. Tento model pak stačí nahrát do zařízení, protože 3D tisk nepotřebuje další specifický CAM program, který nám umožní výrobu.

3.6.3 Materiál použitý pro 3D tisk

Výroba pomocí 3D tisku kovů probíhala opět na katedře obrábění, montáže a strojírenské metrologie na Vysoké škole Báňské Technické univerzitě Ostrava, z materiálu EN 316 L, který je blíže popsán níže. Tento materiál byl zvolen díky dobré korozivzdornosti, otěruvzdornosti a vzhledem k těmto vlastnostem také nízké hmotnosti a ceně materiálu.

3.6.3.1 EN 316L

Je austenitická nízkouhlíková nerezová ocel, legovaná 16,5-18,5 % Cr, 10-12% Ni, 2-2,5% Mo, přičemž % C je nižší než 0,003. Ocel se používá pro svařované konstrukce v agresivním prostředí průmyslového typu, v přímořském prostředí, lze ji také použít pro styk s potravinami. [16]

3.6.4 Zhodnocení výroby 3D tiskem

Kovový 3d tisk je poměrně nová metody výroby, i proto se jedná o velmi finančně nákladnou výrobní metodu, protože i pouhé zapnutí stroje už stojí okolo 2 500 Kč. Výroba je také velmi pomalá, protože se výrobek vyrábí po malinkých vrstvách. V tomto případě byla výška vrstvy 0,05 mm. Tisk jednoho kusu trval 4 hodiny při výrobních parametrech uvedených níže a ceně tisku 4000 Kč.

- Výkon laseru ... 200 W
- Rychlost skenování ... 650 mm/s

Tento čas ještě nebyl konečný, protože na vytisknutém dílu bylo nutné odstranit podpory, které byly při tisku technologii SLM nezbytné a také zarovnání čela a vyřezání závitů, protože ten tiskárna nevytvoří vytvoří pouze otvor pro případný závit. Tyto časy úprav bylo nutné také započítat do finálního času i ceny výroby frézy.



Obr. 3-6-3 Výtisk 3D tiskem s částečně provedenými úpravami

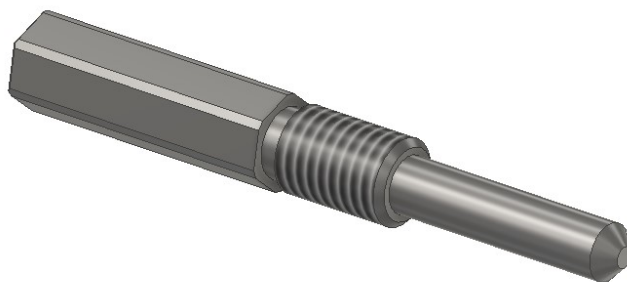
Odstranění podpěr probíhalo ručně za pomoci zejména kombinačních kleští (DIN ISO 5746), ale také potřebných ochranných pomůcek (ochranné rukavice – EN 388 a ochranné brýle – ČSN EN 166). Tato úprava trvala 3 minuty (0,05 hodin).

Po odstranění podpěr byl vytisknutý kus upnut na soustruh, kde bylo zarovnáno čelo za dobu 27 vteřin. Dále byl vytvořen závit, protože při vytváření otvoru pomocí 3D tiskárny došlo k vytvoření díry větší než 10 mm, bylo nutné vytvořit i větší závit proto byl použit závitník M12 na místo navrženého M10. Výroba tohoto závitu probíhala pomocí ručních sadových závitníku. Tato výroba trvala 326 vteřin (0,09hodin) tato hodnota byla změřena pomocí stopky během výrobního procesu.

Celkový čas úprav byl 0,15 hodin, proto je výsledný čas výroby byl tedy 4,15 hodin.

S tím souvisí i výroba nového vodícího hrotu se závitem M12. Jeho výroba probíhala stejně jako při bakalářské práci, jednalo se o výrobu z 6hranné oceli (C 45), kdy došlo k vytvoření vodícího průměru 8 mm, na jeho konci byl vytvořen závit a na uchycovacích hran 6tihranu bylo provedeno sražení, protože při používání vytvořené frézy sražení

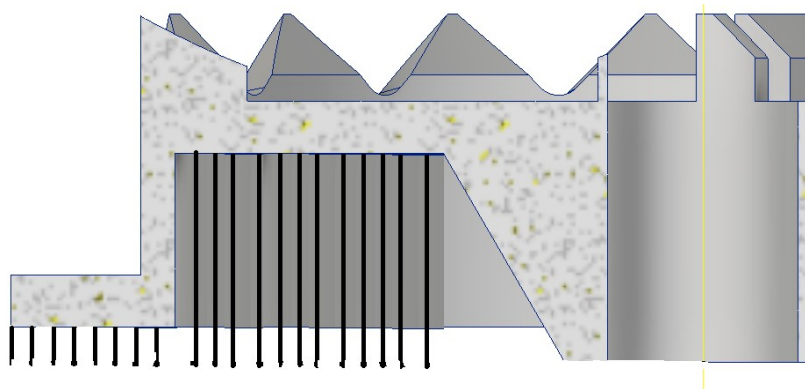
hran usnadní upínání nástroje do vrtačky. Jeho výkres a přesné rozměry jsou uvedeny na výkrese v příloze.



Obr. 3-6-4 Hrot pro uchycení frézy

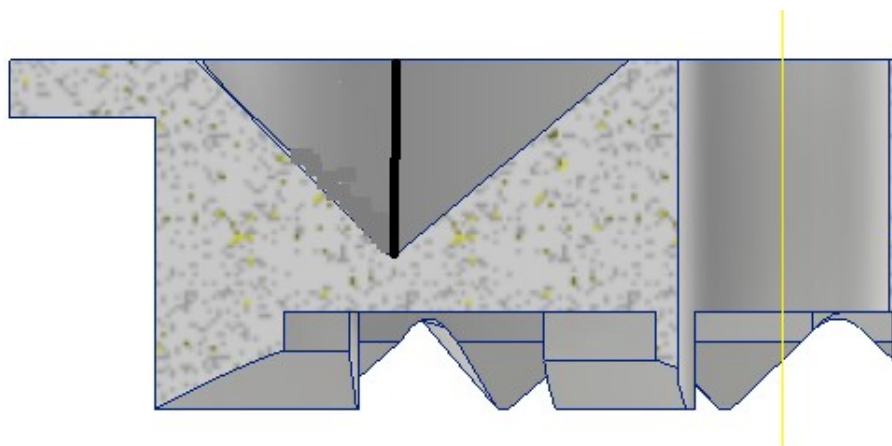
3.6.5 Optimalizace 3D tisku pro případnou další výrobu

Pro další výrobu by bylo vhodné upravit rozměr díry tak, aby bylo možné vytvořit závit M10 jako u ostatních fréz a vyrábět tak k fríze původní vodící hrot. Pro rychlejší, a tedy i levnější výrobu pomocí 3D tisku by bylo nutné provést úpravy modelu tak aby došlo k co největšímu omezení použití podpěr, které musí být po výrobě 3D tiskem odstraněny.



Obr. 3-6-5 Podpěry bez optimalizace.

Podpěry se do modelu vkládají, aby byl umožněn tisk ploch, které začínají ve vzduchu (nejsou spojeny s tiskovou podložkou). Proto by stačilo upravit model, tak aby se v modelu takové plochy nenacházeli. Proto by mohlo být využito jedné z úprav které byly provedeny kvůli obrábění, a to zrušení výstupku tím dojde k zarovnání čelních ploch do jedné roviny. Další úpravou by pak bylo vytvoření zkosení plochy i na druhé straně vnitřku frézy. Po této optimalizaci by došlo ke skoro úplnému vymizení podpor z modelu.



Obr. 3-6-6 Podpěry po optimalizaci

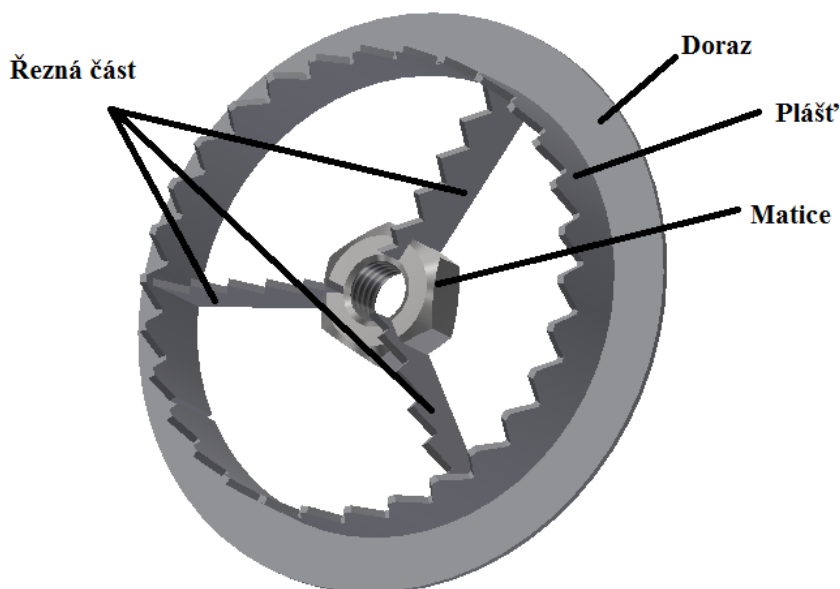
3.7 Výroba plechové frézy

Pro další optimalizaci byla provedena výroba pomocí tváření a svařování plechů. Pro tuto výrobu byl zvolen nerezový plech, který zajistí korozivzdornost, ale také dobré srovnání s předešlým postupem výroby. Před samotnou výrobou z plechu byla nutná tvorba modelu, z kterého byly dále vytvořeny rozviny součásti, které mohly být vypáleny a dále upravovány až do požadovaného tvaru.

Výroba plechové frézy probíhala ve firmě, která se zabývá výrobou z plechů zejména pro odvětví vzduchotechniky. Mezi jejich výrobky patří zejména filtrační boxy a potrubí pro klimatizační zařízení. Firma nechce být v práci uvedena, protože cenové nabídky strojů i doby výroby jsou interními firemními informacemi a firma nechce tyto informace šířit mezi veřejnost pod jejím jménem.

3.7.1 Tvorba modelu plechové frézy

Vytvořená plechová fréza bude v podobě svařence a bude se skládat z pláště, řezné části (která byla použita třikrát), upevňovací části (přípevnění na hrot v tomto případě umožní nerezová matice o vnitřním rozměru závitu M10 a dorazu. Přené rozměry a geometrii je možno vidět na výkrese v příloze.



Obr. 3-7-1 Plechová fréza

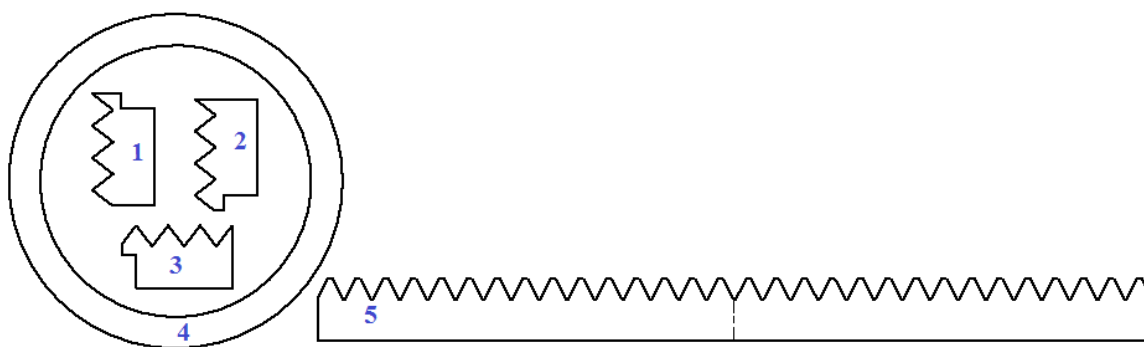
3.7.2 Materiál pro plechovou frézu

Jak už je výše uvedeno pro plechovou frézu byl použit nerezový plech EN 316L o tloušťce 1 mm. Tato tloušťka je sice menší než u stěny vzniklé pomocí obrábění, ale umožní snadnější stáčení materiálu do kruhového tvaru, ale také to takto vyráběnou frézu blíže přiblíží k fréze vzniklé za pomoci obrábění, protože nerezová ocel má větší hmotnost a vyráběná součást má být co nejlehčí. Bylo dokonce nutné použít menší objem materiálu.

3.7.3 Technologický postup výroby

Dělení materiálu

Pro umožnění následného spojení všech částí je důležité mít všechny části správně vyrobeny. Přesné rozměry všech částí jsou na výkresech v příloze této práce. Výroba všech částí kromě matice probíhala na laseru. Proto bylo důležité také vytvoření pálicího plánu. Pálicí plán se vytvářel z důvodu co největší úspory materiálu, ale také přímo jako podklad pro výrobu laserem. Protože se jedná o poměrně malou součástku firma, ve které výroba probíhala měla snahu u vyplnění zbytků místa na velkém formátu plechu. Na Obrázku níže je návrh pálicího plánu důležité je očíslování součástí při pálení, aby nedošlo k vypálení mezikruží dříve, než budou vypáleny součástky uvnitř tohoto mezikruží. Pátou součástí je možno umístit i na úplně jiné místo, aby došlo k co největší úspoře materiálu.



Obr. 3-7-2 Pálicí plán

Zařízení použité pro výrobu laserem bylo TruMatic 6000. Jedná se o všestranný stroj pro pokročilou laserovou a děrovací technologii. Vysoký výkon děrovací hlavy a laseru zaručuje vysokou produktivitu při vynikající kvalitě, dokonalý laserový koncept a univerzální chladicí rozhraní zajišťuje vynikající energetickou bilanci. Díky

jednoduchému konceptu obsluhy lze vyrobit díly do tloušťky až 8 mm rychle a nekomplikovaně a díky inteligentním softwarovým funkcím s obzvláštní procesní spolehlivostí.

Cena pálení na tomto zařízení je 5 Kč pro 100 mm řez. Proto je nutné pro celkové náklady ceny pálení první vypočítat součet všech řezných drah. Celý výpočet je uveden v kapitole „Cenové zhodnocení výroby“ uvedené níže. Celkový čas výroby nám sice neovlivní cenu, ale pro srovnání s dalšími typy výroby je také důležitý proto byl při výrobě změřen a činí 36 sekund.



Obr. 3-7-3 TruMatic 6000

Stočení materiálu

Stočení materiálu do kruhového tvaru se odehrávalo na zakružovačce plechů v době, která byla opět změřena během výroby a byla 24 sekund. Konkrétní název stroje už bohužel nebyl čitelný.



Obr. 3-7-4 Zakružovačka plechů

Svařování všech částí

Veškeré svarové spoje, které byly pro výrobu nutné, byly provedeny metou svařování TIG. TIG je tedy mezinárodní zkratka pro označení metody svařování elektrickým obloukem za pomoci netavící se elektrody a ochranné atmosféry inertního (netečného) plynu. Při této svařovací metodě hoří elektrický oblouk mezi netavící se elektrodou a základním svařovaným materiálem. Protože se elektroda nemá odtavovat, musí být vyrobena z materiálu, který odolává velmi vysokým teplotám. Tuto podmínku splňuje wolfram. [17]

Pro tuto výroby byla použita metoda TIG s použitím přídatného nerezového drátu. Pro zavaření pláště se je jednalo o použití tupého svarového spoje, to zajistilo kruhovitost. Doba svaření pláště byla opět změřena a byla 60 sekund. Ostatní svary byly provedena metodou TIG jako metodou bodového svařování, protože při frézování zateplovacích materiálů nevzniká tak velké působení sil, aby byly tyto bodové svary nedostatečné a také to sníží čas i cenu výroby těchto spojů. Jako první došlo k přivaření mezikruží k plášti za dobu 90 sekund. Poté následovalo přivaření řezných částí jak k plášti, tak i k upevňovací matici po dobu 180 sekund.

Povrchová úprava

Jako povrchová úprava po vyrobení frézy bylo použito leštění probíhalo ručně, tedy pracovník prováděl leštění za pomoci leštícího kotouče. Leštění probíhalo 60 sekund. Po této operaci byla fréza připravena na další používání k účelům, ke kterým byla určena. Jako povrchovou úpravu by bylo také vhodné použít technologii omílání, a to nejen pro plechovou frézu, ale i o pro frézu vytištěnou na kovové 3D tiskárně.



Obr. 3-7-5 Leštění trubek

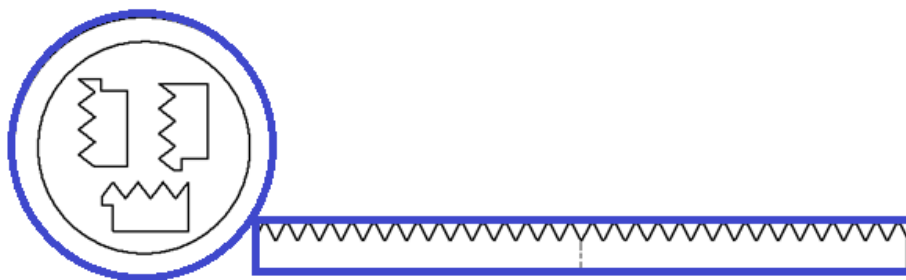
3.7.4 Cenové zhodnocení výroby

Do celkové ceny výroby frézy byla zahrnuta cena potřebného materiálu, cena vyřezání laserem, stočení dílu, svaření všech dílu a konečné leštění. Níže je vše podrobněji rozepsáno. Celková cena frézy je součtem všech níže uvedených položek (cena materiálu, ceny dělení materiálu, ceny stočení, ceny svařování a ceny leštění) činí 168 Kč. K této částce je důležité ještě připočíst marži (výdělek při výrobě u malých strojních součástí se počítá 40 %), tedy 67 Kč. Celková cena plechové frézy je 235 Kč.

Pro další srovnávání bylo důležité znát i potřebný čas k výrobě frézy, ten je opět součtem výrobních časů jednotlivých operací tedy 450 sekund (0,125 hodin). V tomto čase, ale nejsou zahrnuty manipulační časy mezi jednotlivými operacemi, proto by byl výsledný čas větší i celková cena by měla zahrnovat i manipulační náklady, tyto náklady se mně nepodařilo konkrétně nacenit, ale lze uvažovat nad minimální celkovou cenou frézy 260 Kč.

3.7.4.1 Cena materiálu pro výrobu

Pro výpočet ceny nerezového plechu bylo důležité znát veškerý obsah ploch které byly použity. Tyto plochy byly určeny z upraveného pálicího plánu uvedeného na obrázku níže (jsou vyznačeny modře). Úpravy byly provedeny u důvodu vzniku odpadu při pálení, který musí zákazník také zaplatit.



Obr. 3-7-6 Upravený pálicí plán

Součet ploch, tedy obsah kruhu a obdélníku činí 8 026,5 mm². Cena plochy tabule plechu EN 316L o ploše 2 000 000 mm² je 1 852 Kč. Podle těchto údajů spotřebovaný materiál stojí 8 Kč, z důvodu možnosti vzniku větších zbytků počítám dále s 15 Kč za materiál.

Cena nerezové matice M10 činí 3 Kč.

3.7.4.2 Cena pálení laserem

Jak už je výše uvedeno je důležité znát součet všech řezných drah, tedy pro mezikruží to jsou dva obvody kruhu, dále to jsou tři obvody řezné částí, protože tato část byla použita třikrát a také obvod rozvinu pláště.

Obvod většího průměru mezikruží ... 251,3 mm

Obvod menšího průměru mezikruží ... 204,2 mm

Obvod řezné části ... 95,55 mm

Obvod pláště ... 604,8 mm

Celková řezná dráha je tedy 1 346,95 mm tedy asi 1,35 m. Díky tomu lze vypočítat celkovou cenu pálení laseru, která je 67 Kč.

3.7.4.3 Cena zakružení trubky

Zakružoval se pouze pásek, a to na vnější průměr 65 mm. Doba tohoto zakružení byla pouze 24 sekund. Ale firma si pro každé stočení účtuje paušální cenu, a to do průměru 100 mm 15 Kč za zakružení plechů.

3.7.4.4 Cena svařování

Cena veškerého provedeného svařování byla vypočtena jako celkový čas strávený pro svařování vynásobený taxou za svařování, kterou si firma účtuje 700 Kč za hodinu svařování. Protože celkový čas potřebný ke svařování byl 330 sekund což je 0,09 hodiny je celková cena svařování 65 Kč.

3.7.4.5 Cena leštění

Cena leštění zahrnuje plat dělníka a částečně i cenu nástroje (leštícího kotouče, který je použit na více než jeden výrobek, než dojde k jeho opotřebení), ale i náklady na provoz stroje který dělník obsluhuje. Firma, ve které probíhala výroba si za hodinu leštění účtuje 180 Kč. Leštění frézy tedy bylo za 3 Kč.

3.8 Srovnání všech výrobních procesů

Doposud byla řešena výroba jednoho kusu frézy, sériové řešení je popsáno v dalším bodě práce. Pro srovnání bylo důležité všechny vyrobené frézy vyrobit, zjistit (změřit čas příslušné výroby), ale také zjistit příslušnou hmotnost frézy, protože řešení frézy by mělo mít co nejmenší hmotnost.

Celkový přehled výrobních času a příslušných cen i s hmotnostmi a příslušnými fotografiemi je uveden v Tab. 5.

Tab. 5

	Výroba během bakalářské práce	Výroba obráběním	Výroba 3D tiskem	Výroba z plechu
<i>Čas výroby [hod]</i>	0,75	0,3	4,15	0,125
<i>Hmotnost frézy [Kg]</i>	0,05	0,05	0,13	0,05
<i>Cena frézy [Kč]</i>	1 052	407	4 000	260

Pro další používání frézy je krom času a ceny její výroby důležitá také přesnost s jakou byla fréza vyrobená. Proto byly všechny vyrobené frézy rozměrově změřeny a z rozměrů byla určena jejich směrodatná odchylka.

Tabulka naměřených hodnot a vypočtených odchylek byla vytvořena pro každou frézu zvlášť.

Vzorce použité pro výpočet hodnot do tabulek:

- Výběrový průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{\infty} x_i \quad (2)$$

- Odchylka

$$\Delta = x_i - \bar{x} \quad (3)$$

- Kvadratická odchylka

$$s = (x_i - \bar{x})^2 \quad (4)$$

- Výběrová směrodatná odchylka

$$s_{(x)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

- Směrodatná odchylka výběrového průměru

$$s_{(\bar{x})} = \frac{s_{(x)}}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

V níže uvedené tabulce jsou rozměry vytištěné frézy z kterých byl určen tolerovaný rozměr vytištěné frézy, tedy $(65,006 \pm 0,006)$ mm. Výrobou na obráběcím stroji bylo dosaženo velké přesnosti vyráběného dílu za nízký čas i cenu výroby.

Tab. 6 Naměřené hodnoty pro obráběnou frézu

	Naměřená hodnota [mm]	Odchylka [mm]	Kvadratická odchylka [mm ²]
1	64,98	-0,026	0,000676
2	65	-0,006	0,000036
3	65,02	0,014	0,000196
4	65,03	0,024	0,000576
5	64,99	-0,016	0,000256
6	65,01	0,004	0,000016
7	65,02	0,014	0,000196
8	64,98	-0,026	0,000676
9	65	-0,006	0,000036
10	65,03	0,024	0,000576
Průměrná hodnota		65,006	

V níže uvedené tabulce jsou rozměry vytištěné frézy z kterých byl určen tolerovaný rozměr vytištěné frézy, tedy $(65,041 \pm 0,007)$ mm. Vytvořením frézy na 3D tiskárně, bylo sice dosaženo velké přesnosti, ale bohužel je tento způsob výroby velmi nákladný jak cenově, tak časově.

Tab. 7 Naměřené hodnoty pro vytištěnou frézu

	Naměřená hodnota [mm]	Odchylka [mm]	Kvadratická odchylka [mm ²]
1	65,06	0,019	0,000361
2	65,08	0,039	0,001521
3	65	-0,041	0,001681
4	65,03	-0,011	0,000121
5	65,05	0,009	0,000081
6	65,02	-0,021	0,000441
7	65,04	-0,001	0,000001
8	65,06	0,019	0,000361
9	65,03	-0,011	0,000121
10	65,04	-0,001	0,000001
Průměrná hodnota		65,041	

V níže uvedené tabulce jsou rozměry vytištěné frézy z kterých byl určen tolerovaný rozměr vytištěné frézy, tedy $(65,636 \pm 0,045)$ mm. Tento rozměr je sice větší o více než 0,5 mm než navržený rozměr, ale pro další úpravu by bylo možné upravit rozměr rozvinu kruhu, aby se rozměr zmenšil. Kontrolovaná fréza je větší z důvodu svařování, protože dochází k přidávání svarového kovu.

Tab. 8 Naměřené hodnoty pro plechovou frézu

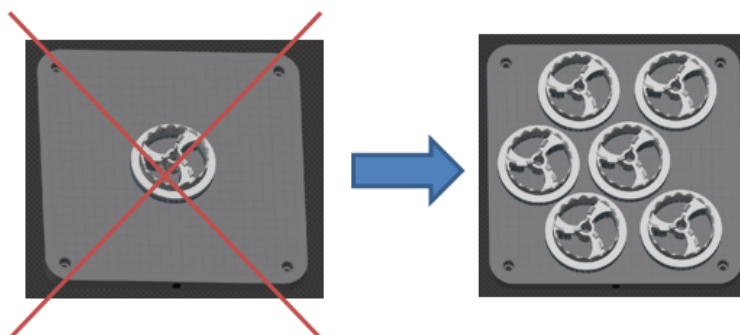
	Naměřená hodnota [mm]	Odchylka [mm]	Kvadratická odchylka [mm ²]
1	65,72	0,084	0,007056
2	65,52	-0,116	0,013456
3	65,84	0,204	0,041616
4	65,41	-0,226	0,051076
5	65,62	-0,016	0,000256
6	65,54	-0,096	0,009216
7	65,48	-0,156	0,024336
8	65,71	0,074	0,005476
9	65,80	0,164	0,026896
10	65,72	0,084	0,007056
Průměrná hodnota	65,636		

Z tabulek lze jasně vidět, že nejpřesnější výroba frézy je výroba pomocí obrábění na soustruhu. Tato výroba trvala 0,3 hodin a prodejní cena takto vyráběné frézy činí 407 Kč.

3.9 Sériová výroba

Pro sériovou výrobu v rámci obráběcích procesů je také výhodnější soustruh. Zejména z důvodu upínání tyčí, a ne jednotlivých polotovarů. Z procesu výroby tak vypadne výroba polotovaru. Bohužel výroba frézy z důvodu odlehčení musí probíhat na dvě upnutí. Tedy i když dojde k výrobě z tyčí musí dojít nejen k upíchnutí po vyrobení první strany, ale k druhému upnutí a obrobení druhé strany. Další aspekt, kterého lze pro tuto výrobu využít je připravený CNC program pro obrábění který se s počtem vyráběných kusů nebude nijak lišit, díky času výroby, který byl dosažený optimalizací, by bylo možné vyrábět frézy i velkosériovou výrobou.

Výrobu pomocí kovového 3D tisku by bylo možné pro sériovou výrobu dále optimalizovat. A to tak aby při tisku bylo využito celé tiskové plochy 3D tiskárny (Obr. XX). To by znamenalo vyrábět místo jedné frézy fréz 6. Zvýšila by se tak doba tisku ze 4 hodin na 19 hodin a zvýšila by se také cena tisku ze 4 000 Kč na 8 000 Kč. To ale ovšem znamená při podělení počtem kusů, že by cena jednoho kusu vyšla na 1 333 Kč



Obr. 3-9-1 Sériový 3D tisk

Ale i přes tyto úpravy jsou náklady na výrobu za pomoci kovového 3D tisku příliš vysoké. Proto tento způsob výroby není vhodný pro výrobu tohoto nástroje, jak vzhledem ke kusové výrobě, tak i výrobě sériové.

Během práce se ukázalo, že neproduktivnější způsob výroby frézy je výroba frézy z korozivzdorného plechu. Tato výroba je už natolik optimalizovaná, že už větší zefektivnění výroby by mohlo být ve vytvoření pálicího plánů pro daný počet kusů do série, nebo také k navržení a následnému vytvoření svařovacích přípravků, díky kterým by byl zkrácen čas svařování a tím i snížen čas celkové doby výroby i ceny vyráběného nástroje.

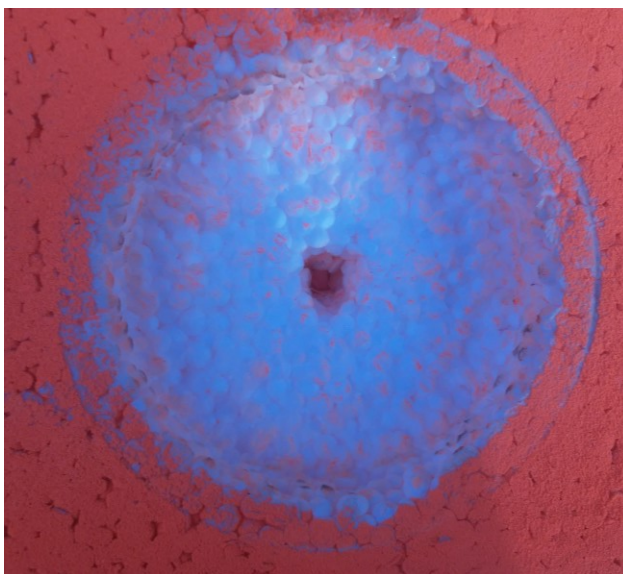
3.10 Otestování vyrobených fréz

Funkčnost vyrobených fréz byla otestována pomocí experimentu, kdy se každá fréza použila nejprve k vytvoření zahloubení do polystyrenu a následně i do (fasádní) minerální vaty. Dodržení pořadí, kdy první došlo k testování v polystyrenu a poté v minerální vatě bylo důležité zejména pro plechovou frézu, protože její stěny jsou se srovnáním s obráběnou nebo vytištěnou frézou poměrně tenké a také není známo, jak kvalitně byly provedeny svary, mohlo by dojít při testování v minerální vatě k jejímu trvalému poškození.

Pro lepší názornost vyfrézovaných otvorů byl testovaný polystyren potažen výraznou barvou. Toto řešení se ukázalo jako ne úplně vhodné, protože díky dorazu na frézy dochází i v okolí otvory k otření barvy, proto barva na minerální vatu nanесena již nebyla.

3.10.1 Testování obráběné frézy

Testování obráběné frézy do polystyrenu nebylo ani potřeba. Způsobil to zejména fakt, že fréza vytvořená během bakalářské práce byla používána v praxi a během tohoto používání byly zjištěny její nedostatky zejména při frézování minerální vaty. Její používání v polystyrenu bylo bez problémů, ale přesto byl zkušební otvor vytvořen. Došlo k zjištění, že provedené úpravy neměly negativní vliv na řezné vlastnosti frézy a frézovaný otvor má tak stále potřebné parametry.



Obr. 3-10-1 Testování obráběné frézy v polystyrenu

Při testování obráběné frézy v minerální vatě byly zjištěny dobré výsledky provedených úprav během této práce. Díky provedeným úpravám již nedochází k vytrhování minerální vaty, jako u nástroje vytvořeného během bakalářské práce.



Obr. 3-10-2 Testování obráběné frézy v minerální vatě

3.10.2 Testování vytištěné frézy

Při vyfrézování otvoru do polystyrenu došlo k úspěšnému vyfrézování zhloubení, ale při srovnání s ostatními otvory jsou stěny otvoru méně hladké proto, byly následně vnější plochy frézy zabroušeny, aby došlo ke hladšímu povrchu. Tato operace by delším používáním frézy nebyla nutná, protože by došlo k obroušení o obráběné materiály. A vzhled otvoru, do kterého bude umístěna talířová hmoždinka se zátkou z izolačního materiálu nemá na funkčnost vliv.



Obr. 3-10-3 Testování tištěné frézy v polystyrenu

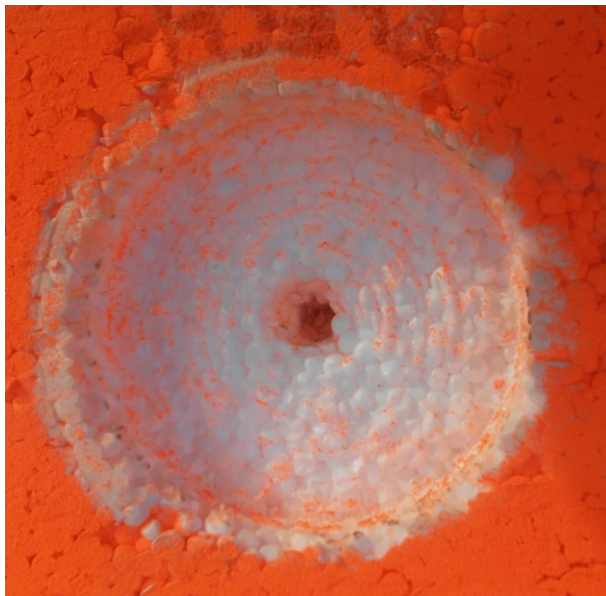
Při testování tištěné frézy v minerální vatě, byly zjištěny stejné nedostatky jako při testování v polystyrenu. Stěny otvoru jsou mírně otřepené, a to i po provedeném broušení, proto bych navrhovala místo povrchové úpravy broušení pro případné další kusy aplikovat technologii omílání



Obr. 3-10-4 Testování tištěné frézy v minerální vatě

3.10.3 Testování plechové frézy

Testování plechové frézy v polystyrenu bylo velmi úspěšné, bylo to způsobeno zejména tenkými stěnami nástroje, které způsobují velkou řezivost nástroje a nezpůsobují, téměř žádné vylupování polystyrenu při vytváření otvoru.



Obr. 3-10-5 Testování plechové frézy v polystyrenu

Testování plechové frézy v minerální vatě došlo stejně jako při testování v polystyrenu k vytvoření otvoru s hladkými stěnami. Tenké stěny plechového nástroje způsobují větší řezivost než u obráběné nebo tištěné frézy. Otázkou, ale zůstává, kolik otvorů dokáže plechová fréza vyrobit, než dojde k jejímu poškození (vylomení zubů), nebo otupení zubů.



Obr. 3-10-6 Testování plechové frézy v minerální vatě

Při otestování všech vyrobených fréz došlo ke zjištění, že všechny vyrobené frézy splňují požadavky při vytváření otvorů do polystyrenu i do minerální vaty. Při tomto testování dopadla nejhůře fréza vyráběná pomocí kovového 3D tisku, aby fréza při testování byla úspěšnější musela by fréza projít po vytištění nejen mechanickými úpravami, ale také procesem omílání. Při testování obráběné frézy již nedocházelo k vyštipování jako u frézy vyrobené během bakalářské práce, proto považuji optimalizaci nástroje za úspěšnou. Nejlépe si při testování vedla fréza vyrobená z plechu, díky tenkým stěnám frézy má nejlepší rezné vlastnosti.

Bohužel kvůli podmínkám, které způsobila koronavirová pandemie, bylo možné otestování pouze na pár otvorech. Situace ve státě zastavila i stavebnický průmysl, který se měl na jaře rozjet, ale nemohl ať už z důvodu nedostatku zaměstnanců nebo i nedostatku stavebních materiálů. Proto vyrobené frézy nemohly být otestovány na životnost. Z tohoto důvodu nemohla být plechová fréza jednoznačně určena jako nejlepší řešení, protože i když je její cena nižší, než u obráběné frézy není jisté, jestli by se díky tenkým stěnám, její životnost nezkrátila natolik, aby byla obráběná fréza výhodnějším řešením.

3.11 Optimalizace zátek z izolačních materiálů

Díky velkému rozvoji trhu nedochází jen k rozvoji druhů zateplovacích materiálů a postupů jejich používání. Rozšiřuje se také počet firem, které vytváří izolační materiály a k nim i příslušné zátky. Tyto zátky byly dříve vyráběny pouze o řezném průměru 65 mm, poslední dobou se firmy předhánějí v ceně dílů i tím že vytváří zátky sice levnější, ale o řezném průměru 70 mm.

Pro řešení i tohoto průměru byly upraveny rozměry plechové frézy i rozměry 3D modelu pro obráběnou frézu, který lze rovněž být použit i pro kovový 3D tisk, ale jeho cena je oproti dvěma zbývajícím řešení několika násobně vyšší. Frézy s takto upravenými sice již nebyly vyráběny, ale výkresy připravené pro jejich výrobu jsou připojeny v příloze práce.

3.12 Použité materiály

Během práce byly pro jednotlivé materiály použity dva materiály. Hliníková slitina EN AW-7075, která je v odolnosti na opotřebení srovnatelná s ocelí, ale oproti oceli je lépe tvárná a obrobitelná, díky vytváření vrstvy oxidu hlinitého na povrchu vlivem oxidace je korozivzdorná, tato upravuje povrch podobně jako kalená vrstva u ocelových výrobků. Používá se zejména v leteckém průmyslu, i proto bývá někdy označována jako „letecký dural“. Nevýhodou tohoto materiálu je ale vysoká cena, ale také to, že se z tohoto materiálu nevyrábí plechy a materiál je jen obtížně svařitelný. Proto výroba plechové frézy nebyla možná. Nerealizovatelná byla také výroba pomocí kovového 3D tisku.

Z důvodu vysoké ceny předešlého materiálu a také nemožného použití materiálu pro plechovou frézu a frézu vytvořenou na 3D tiskárně, byla pro všechny výroby frézy použita korozivzdorná ocel EN 361 L. Tento materiál je sice hůře, obrobitelný má větší odolnost proti opotřebení i korozi a je výrazně levnější.

Pro viditelné cenové srovnání je zde uvedena cena polotovaru pro obráběnou frézu z obou materiálů. Polotovar uvažuji tyč kruhové průřezu Ø80 – 23 mm.

Tab. 9 Srovnání materiálů

	EN 361 L	EN AW-7075
<i>Cena polotovaru</i>	22 Kč	51 Kč

Cena materiálu byla zjištěna z katalogu korozivzdorných materiálů nerezmaterial.cz. [18]

I když je cena korozivzdorné oceli výrazně nižší neznamená to, že bude nižší i cena výroby frézy z tohoto materiálu. Kvůli tomu, že korozivzdorná ocel si vyžaduje úpravu řezných podmínek v NC programu pro obrábění dojde tak k prodloužení doby výroby, a tak i vyšší ceně nástroje. Pro zjištění konkrétního času došlo k úpravě řezných podmínek pro obrábění korozivzdorné oceli v programu a díky simulaci byl zjištěn čas případné výroby nerezů. Zjištěný čas byl 0,41 hodin oproti 0,3 hodin při obrábění hliníkové slitiny. Tento čas, ale ještě není obohacen o čas upínání či jinou nutnou manipulaci při výrobě.

Rozdílné výrobní časy při výrobě z hliníkové slitiny a korozi-vzdorné oceli, jsou způsobené zejména rozdílnými řeznými rychlostmi a posuvy, které jsou pro obrábění korozi-vzdorné oceli nižší.

Tab. 10 Srovnání použitých řezných podmínek

	<i>Hliníková slitina</i>	<i>Korozi-vzdorná ocel</i>
<i>Řezná rychlost pro stopkovou frézu [m/min]</i>	80	60
<i>Posuv pro Ø frézy 2-4 mm [mm/zub]</i>	0,03	0,01
<i>Posuv pro Ø frézy 5-10 mm [mm/zub]</i>	0,05	0,02
<i>Řezná rychlost pro soustružnický nůž [m/min]</i>	100	45
<i>Posuv pro soustružnický nůž [mm/ot.]</i>	1,5	1
<i>Řezná rychlost pro vrtání Ø 8,5 mm [m/min]</i>	80	10
<i>Posuv pro Ø 8,5mm [mm/ot.]</i>	20	10

Výroba nástroje pomocí obrábění z korozi-vzdorné oceli by trvala výrazně déle než výroba nástroje z hliníkové slitiny. Nástroj z korozi-vzdorné oceli bude mít se srovnám s hliníkový i vyšší hmotnost, a proto bude i další manipulace sním náročnější, proto byl pro proces obrábění tento materiál zavržen.

3.13 Optimalizace procesu používání nástroje

Při zateplování budov dojde nejprve k přilepení zateplovacích desek. Po přilepení je do desek vyvrtán otvor \varnothing 8 mm pomocí vidiového vrtáku s SDS upínám a ruční vrtačky s možností použití příklepu. Toto vybavení se používá z důvodu ukotvení hmoždinky až ve zdivu budovy, a ne pouze v izolačním materiálu.



Obr. 3-13-1 Vidiový vrták s SDS upínáním [19]

Až po předvrtání otvorů dojde k výměně vrtáku za nástroj a vypnutí příklepu na vrtačce a následně se vytváří otvory. Některé firmy, které tuhle činnost vykonávají, používají dvě vrtačky, kdy v jedné mají upnutý vrták a v druhé nástroj. Vrtačka, která slouží pro upnutí nástroje nemusí mít možnost používání příklepu.

Největší optimalizace toho procesu by byla v uchycení frézy na vrták. Protože k vytvoření otvoru do zdiva je nutné použít příklep, byl během práce vykonán experiment, kdy došlo k vytvoření zahloubení při použití příklepu, aby bylo zjištěno, zda je tato optimalizace realizovatelná.

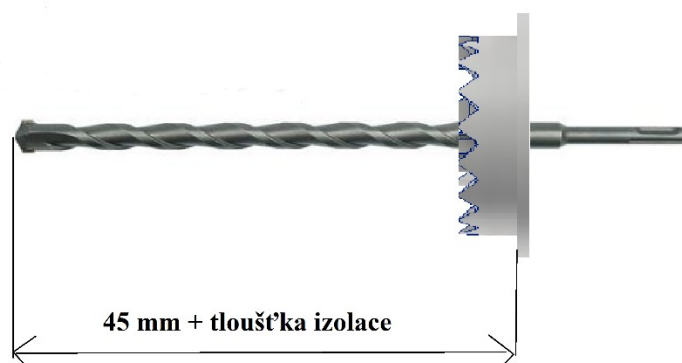
Při tomto experimentu došlo k připojení frézy na vrták pouze pomocí lepidla, tento postup není vhodný dále používat. Složil k pouze odzkoušením na pár vzorcích, jak se zachovají oba izolační materiály při vrtání s příklepem. Proto aby probíhalo vrtání s příklepem byly použity bílé cihly jako podklad a teprve na ně byl umístěn izolační materiál. Jelikož všechny frézy bez příklepu fungují stačilo během tohoto experimentu použít jen jednu frézu. Byla zvolena fréza plechová, protože má nejnižší náklady na výrobu, ke které by muselo dojít, kdyby byla během experimentu poškozena.

Při tomto experimentu došlo ke zjištění, že upnutí přímo na vrták by bylo možné pouze pro frézování otvorů do minerální vaty, protože při vrtání s přiklepením do polystyrenu docházelo odlupování kusů materiálu z vrchní hrany otvoru, a to zejména při delším času frézování až po doraz, na rozdíl, kdy otvory vytvořené v minerální vatě mají všechny stěny hladké. Viz obrázek níže.



Obr. 3-13-2 Experiment s přiklepením

Nejen díky tomu experimentu, kdy se postup frézování se současným vrtáním do zdiva ukázal nemožnost upnutí na vrták bez nějakého tlumení rázů. Zejména pro frézování do polystyrenu, který je stále rozšířenější fasádní izolační materiál než minerální vata. Ale také fakt že tyto izolační materiály se vyrábí i používají v řadě různých tloušťek (od 120 mm až po 260 mm). Proto by upínání na vrták muselo být nastavitelné, a to tak aby dosedací plocha frézy byla umístěna ve vzdálenosti od špičky vrtáku, která bude součet tloušťky izolačního materiálu a hloubky vyvrtané do zdiva, která by měla být 45 mm.



Obr. 3-13-3 náčrtek uchycení na vrták

Zajištění proti pootočení frézy na vrtáku by mohlo být provedeno například pomocí červíku, to ale neřeší tlumení rázů od vrtání s přiklepem. Dále by pro toto řešení musela být upravena i fréza. Na té by nebyl potřebný otvor se závitem, ale obyčejná díra by byla dostačující. Ale musel by být vytvořen otvor se závitem pro červík. Protože tato úprava by byla poměrně komplikovaná, musel by být komplikovaně upravován 3D model a také by muselo dojít k vyřešení způsobu výroby tohoto otvoru.

Před zahájením těchto úprav proběhla diskuze s dělníky, kteří by následně vyrobený nástroj skoro denně používali. Dělníci potvrdili, že je pro ně jednodušší používat při zateplování dvě vrtačky než vynakládat soustředění při frézování otvorů najednou dávat velký zřetel, kdy se dostanou po doraz frézy, aby nedošlo k poškození materiálu. Ani s nastavováním hloubky frézování nebyly spokojeni.

Tyto úpravy již na frézy provedeny nebyly, protože díky experimentu, komplikovaným úpravám i komunikací s pracovníky, kteří se zateplování živí, nebyl zjištěn dostatek pozitivních ohledů, aby toto řešení mělo dále využití.

Závěr

Během práce došlo vzhledem k poznatkům během používání nástroje vytvořeného během mé bakalářské práce ke konstrukčním úpravám, tak by došlo k optimalizaci rozměrů polotovaru, ale i k optimalizaci samotné výroby. Výroba frézy byla poté uskutečněna třemi výrobní postupy (obráběním, kovovým 3D tiskem a výrobou pomocí svařování plechových částí frézy. Při výrobě obráběním byla nejprve simulována optimalizace výroby na 3osé frézce, ale protože stejný tvar frézy je možno dosáhnout i při obrábění na soustruhu, byla výroba pomocí obrábění uskutečněna pouze na soustružnickém zařízení, které umožní používání poháněných nástrojů. Ta to výroba trvala 0,3 hodin což je oproti simulované výrobě frézování (0,65 hodin) výrazně nižší čas výroby, a tedy i cena výroby pomocí obrábění. Cena soustružené frézy je 407 Kč bez DPH. Výroba pomocí kovového 3D tisku se během práce ukázala jako poměrně nákladná jak časově i cenově. Plechová fréza se naopak ukázala jako cenově i časově nejvýhodnější pro následnou sériovou výrobu.

Dále během práce byly všechny frézy zkontrolovány na přesnost, kde se nejlépe umístila fréza obráběná a nejhůře pak fréza plechová.

Také byly všechny vyrobené frézy otestovány při frézování otvorů do izolačních materiálů, tedy při práci, ke které mají být určeny. Zde si nejlépe vedla fréza plechová zejména jejich tenkým stěnám vykazovala velkou řezivost, nejhůře pak dopadla fréza vytištěná, kdy její nerovný povrch narušoval frézovaný materiál.

Při zhodnocení všech aspektů byla jako nejvhodnější fréza vybrána fréza vyrobená z plechu, která byla vyrobena za 0,125 hodin a její cena je 250 Kč bez DPH, i když dopadla při kontrole nejhůře na přesnost, nebyla tato odchylka od průměru tak velká, aby neumožnila používání nástroje v praxi. Otázkou zůstává, zda její životnost nebude v porovnání s obráběnou frézou o tolik nižší, aby nebyla vhodnější právě obráběná fréza. Otestování na životnost nemohlo proběhnout z důvodu aktuální situace ve státě, která uzavřela řadu stavebních firem, které by mohly frézy používat, a tak i otestovat jejich životnost.

V závěru práce byl proveden experiment při uchycení fréza přímo na vrták, aby tak došlo k optimalizaci celého procesu zateplování. Toto řešení se během experimentu ukázalo jako velmi komplikované, protože díky přiklepu, který se používá pro vrtání do zdiva docházelo k poškozování izolačního materiálu, a při upevnění na vrták by bylo nutné použít tlumení rázů, nebo při frézování postupovat značně opatrně. Proto byla tato problematika projednána s dělníky, kteří se zateplováním živí a ti se přiklonili k variantě dosavadního řešení frézy upnuté na vodící hrot.

Diplomová byla vypracována za podpory projektu: „Specifický výzkum inovativních technologií výroby“, reg. č. „SP2020/27“ Specifického výzkumu financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Touto cestou bych ráda poděkovala Katedře obrábění, montáže a strojírenské metrologie za možnost vypracování diplomové práce na strojích katedry. Taktéž bych chtěla poděkovat panu Ing. Františku Špalkovi za odborné vedení mé diplomové práce a panu doc. Ing. Marku Sadílkovi, Ph.D, který mi byl nápomocen při tvorbě CNC programů

Zdroje

- [1] *Zdravé bydlení* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <http://www.zdrave-bydleni.com/aplikace-tepelne-izolacni-omitky-na-zdivo-video-system-etg-ts/>
- [2] *Jak se dělají odvětrávané zateplovací systémy* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.naseinfo.cz/stavby-a-stavebnictvi/horni-stavba/tepelne-izolace/jak-se-delaji-odvetravane-zateplovaci-systemy>
- [3] *Metody zateplení fasád* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.belstav.cz/metody-zatepleni-fasad>
- [4] *Kontaktní zateplení* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.mirascz.eu/zatepleni/kontaktni-zatepleni.htm>
- [5] *Fasády*. Leden 2013. DEKTRADE. ISBN 978-80-87215-12-8.
- [6] *Hmozdinka ejot* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.levnestavebniny.cz/hmozdinka-ejot-tid-t-8-60-.7677/>
- [7] *Sroubovací montáž* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.fischer-cz.cz/cs-cz/vyroby/kotveni-izolaci/systemove-hmozdinky-pro-etics/sroubovaci-montaz/termoz-cs-8>
- [8] SADÍLEK, Marek a Zuzana SADÍLKOVÁ. *Počítačová podpora procesu obrábění: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2770-4
- [9] *Mastecam* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <http://www.mastercam.cz/kategorie/mastercam-57297>
- [10] JANČAŘÍKOVÁ, M. *Modelace a výroba frézy pro obrábění polystyrenu a minerální vaty: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 35 s. Vedoucí práce: Špalek, F.

- [11] *Ferona* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/27306/tyc-hlinikova-kruhova-lisovana-en-755-3-prumer-80>
- [12] *Kovosvit* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-1270-p9.html#technicaldata>
- [13] *Dmg mori* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.dmgmori.co.jp/en/products/machine/id=1399>
- [14] *3D tisk kovu* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/3d-tisk-kovu>
- [15] *3D tisk kovových slitin* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://protolab.cz/3d-tisk-kovovych-slitin>
- [16] *Nerezova-ocel-14404* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14404.html>
- [17] *Svarovani TIG* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.svorecky-elektrody.cz/svarovani-tig-zakladni-seznameni/t-39/t-120>
- [18] *Nerez material* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.nerezmaterial.cz/tyc-kruhova-pr-80-aisi-316l-valcovana-loupana>
Zkopírovat citaci
- [19] *Vidiový vrták s SDS* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.mdkompresory.cz/product/vrtaky-sds-max-a-sds_-vyprodej/vrtaky-sds-plus---vyprodej/vrtak-vidiovy-sds-plus-18x400/1031

Seznam příloh

Příloha A	Výkres sestavy obráběné
Příloha B	Výkres frézy 65 mm
Příloha C	Výkres hrotu
Příloha D	Výkres sestavy plechové
Příloha E	Výkres mezikruží
Příloha F	Výkres pláště
Příloha G	Výkres zubu_L
Příloha H	Výkres zubu_P
Příloha CH	Výkres frézy 70 mm
Příloha I	Výkres sestavy 70 mm
Příloha J	Výkres sestavy plechové 70 mm
Příloha K	Výkres mezikruží 70 mm
Příloha L	Výkres pláště 70 mm
Příloha M	Výkres zubu_L 70 mm
Příloha N	Výkres zubu_P 70 mm
Příloha O	NC kód pro soustružení
Příloha P	NC kód pro frézování 1 upnutí
Příloha Q	NC kód pro frézování 2 upnutí